DOI:10.11931/guihaia.gxzw202403020

关于我国植物迁地保护的思考

孙卫邦*

（中国科学院昆明植物研究所，云南省极小种群野生植物综合保护重点实验室/昆明植物园，昆明 650201）

摘　要：随着人类活动和全球气候变化的加剧，生物物种正在加速灭绝。植物迁地保护是植物多样性保护的重要方式，也是国家植物园体系建设的核心任务。然而，有关植物迁地保护、珍稀濒危植物的概念和范围、以及我国植物迁地保护的目标等问题仍存在争议。该文论述了植物迁地保护的概念和我国珍稀濒危植物界定范围，讨论了最新中国生物多样性红色名录（高等植物卷）中受威胁种类、国家重点保护野生植物和极小种群野生植物之间的关系、以及我国植物迁地保护的任务和目标，剖析了当前我国植物迁地保护有效性、迁地保护物种的信息档案记录、以及国家植物园体系建设与管理等方面存在的问题，并提出了具体建议。该文可为我国植物迁地保护提供理论参考。

关键词：珍稀濒危植物，迁地保护，保护目标，问题与建议

中图分类号：Q948.13　　　　**文献标识码**：A

Thinking about the *ex situ* conservation of plants in China

Sun Weibang*

（*Yunnan Key Laboratory for Integrative Conservation of Plant Species with Extremely Small Populations / Kunming Botanical Garden, Kunming Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences,* Kunming 650201, China）

Abstract: With the intensification of human activities and global climate change, biological species loss has being rapidly accelerated. *Ex situ* conservation of plants is a crucial approach for preserving plant diversity and will play a central role in the establishment of the National Botanical Garden System of China. However, issues regarding the concept and range of the *ex situ* conservation of plants, and China's rare and endangered plants, as well as the goals for *ex situ* conservation of plants in China, are still under discussions. Thus, the concept of the *ex situ* conservation of plants, the scope of the China's rare and endangered plants, the differences between the threatened plants in China Red List of Biodiversity, the National Key Protected Wild Plants of China and the Plant Species with Extremely Small Populations (PSESP), as well as the specific targets for China's *ex situ* conservation of plants have been thoroughly discussed and clarified in this paper. In addition, three issues related to China's *ex situ* conservation of plants are examined and also the specific suggestions are proposed, including the effectiveness of *ex situ* conservation of plants, the documentation of plant collection, introduction and conservation information, as well as the development and management of National Botanical Gardens of China. This review provides a theoretical basis for the *ex situ* conservation of plants in China.

基金项目：第二次青藏高原综合科学考察研究(2019QZKK0502)；国家科技基础资源调查专项(2017FY100100)。

第一作者：孙卫邦，博士，研究员，主要从事保护生物学、资源植物学、园林植物学等研究，目前重点聚焦极小种群野生植物研究和保护实践等工作，（E-mail）wbsun@mail.kib.ac.cn。

*通信作者

Key words: rare and endangered plants，*ex situ* conservation，conservation targets，problems and suggestions

英国皇家植物园邱园（Royal Botanic Gardens KEW）2023 年发布的《世界植物和真菌状况》（State of the World's Plants and Fungi）显示，全球约有 45%的有花植物和 75%未被描述的植物物种濒临灭绝风险（Antonelli et al., 2023）。我国 3 万多种高等植物中，15%~20 %的物种是受威胁种类 (覃海宁和赵莉娜，2018)。当前，生物物种正以惊人的速度发生灭绝，在人类活动、气候变化、生物入侵等因素的威胁下，如果人类不主动作为，寻找解决方案，并付诸行动，将会有更多的生物从地球上消失。

植物的就地（*in situ*）保护和迁地（*ex situ*）保护是植物多样性保护的两种重要方式。对植物最有效和最直接的保护方法是就地保护，但是，在当前全球变化和人类活动不断加剧背景下，部分物种在其原生地不再适生或长期生存下去，或靠物种自身无法正常繁衍，需要开展迁地保护对其进行抢救。当一种植物在野外濒临高度灭绝风险时，迁地保护是拯救这一物种的最重要措施，也是未来对这个物种开展种群恢复计划、科学研究、资源利用的基础和前提。与迁地保护相比，就地保护的投资需求较高，且常有社区问题和当地社会经济发展问题需要协调、统筹和解决，且大部分就地保护的α多样性不高（陈进和杨玺，2024）。此外，受地域、成本、社会发展等因素限制，各国也不可能将所有重要物种的分布区域划分为自然保护地进行立法保护。有研究还显示，在种子库保存植物种子的成本，仅为就地保护的 1% (Li & Pritchard, 2009)。无疑，我国植物多样性的有效保护急需构建就地保护与迁地保护相结合的综合体系。

全世界的植物园收集保存了约 80 000 个物种，占世界维管植物种类的四分之一，植物园不仅在生物多样性保护中发挥着重要作用，还在物种繁殖和利用、园林园艺、植物分类学、植物系统学、遗传学、恢复生态学等研究，以及科学普及和公众教育等方面扮演着重要角色 (Chen & Sun, 2018)。关于我国植物的迁地保护的目标、历史、成绩等问题，已有学者进行了探讨（陈进和杨玺，2024；任海，2024）。本文基于作者多年从事植物园工作的经验、体会，针对植物迁地保护的概念、珍稀濒危植物的范围以及我国植物迁地保护中存在的一些问题，谈谈自己的一些思考，希望能为我国植物迁地保护提供参考。

1 关于植物的迁地保护

植物迁地保护（*ex situ* conservation of plants），指把生存和繁衍受到严重威胁的植物一部分（种子、花粉、营养繁殖体等），或通过人工繁殖的植株或培养物，在其自然环境以外的人工管护或管理条件下进行保存。植物迁地保护主要是针对珍稀濒危植物而采取的重要方法，特别是那些分布于自然保护地有效保护范围外的受威胁种类、种群或散生单株；事实上，植物迁地保护已逐步扩展到区域的植物多样性保护 (Guerrant et al., 2004)。植物迁地保护的主要措施包括植物园、树木园或其他种质资源圃的活植物栽培保护（*ex situ* living plant cultivation）、种质资源库种质（种子、花粉、营养繁殖体、DNA 材料等）保存（germplasm banking）和基于组织培养技术的植物离体保存（*in vitro* plant preservation）等多种途径。

目前，一些国家的植物园建立了野生植物种质库对植物资源进行高效收集保存，我国已在中国科学院昆明植物研究所建有中国西南野生生物种质资源库。截至 2023 年底，中国西南野生生物种质资源库已保存 10 602 种 94 596 份野生植物的种子、2 246 种野生植物的离体培养材料 23 270 份以及 9 145 种植物的总 DNA 共 71 829 份。在该种质库保存的植物种质资源中，包括了 5 852 种云南省本土植物的种子 22 277 份，192 种分布在云南的国家重点保护野生植物的种子 714 份，国家科技基础资源调查专项项目“中国西南地区极小种群野生植物

调查与种质保存项目”中 92 个目标物种的种子 606 份 23 万粒、187 个目标物种的 DNA 材料共 14 239 号 25 947 份。可见，生物种质资源库在我国植物迁地保护中发挥了重要作用。

2 我国的珍稀濒危植物

在我国已出版的有关专著中，稀有濒危植物（rare and endangered plants）（傅立国，1991；许再富，1998）、珍稀植物（rare and precious plants）（贺善安，1998）、珍稀濒危植物（rare and endangered plants 或 rare and threatened plants）（龚洵等，2006；印红，2013；任海等，2016；臧德奎，2017；张贵良等，2017）等先后被采用。目前，珍稀濒危植物一词被广泛使用，但其概念和范围还需要进一步明确。珍稀濒危植物这一概念或许可以表述为“种群和个体数量稀少、当前或未来具有灭绝风险的野生植物”。关于珍稀濒危植物的英文，多数文献使用“rare and endangered plants”，但使用“rare and threatened plants”似乎更为合适。我国珍稀濒危植物应该包括国家重点保护野生植物、基于 IUCN（International Union for Conservation of Nature，世界自然保护联盟）评估标准形成的中国生物多样性红色名录中的受威胁植物（包括极危 CR、濒危 EN 和易危 VU 物种）、以及国家和地方政府保护规划中的极小种群野生植物（Plant Species with Extremely Small Populations，PSESP）(孙卫邦，2013；孙卫邦等，2019；孙卫邦，2021)等，它们有部分重叠，互为补充，又各有侧重点，在生物多样性保护、研究和决策等方面发挥着重要作用。

国家重点保护野生植物名录中的物种是受国家法律保护的重要生物资源，部分物种可能当前并不濒危，但具有重要的经济、文化、科研、生态等价值，而被列入国家重点保护野生植物名录 (鲁兆莉等，2021)。我国于 1999 年 8 月 4 日，经国务院批准发布了第一批《国家重点保护野生植物名录》（国家林业局 农业部令第 4 号），该名录包括 8 类（分类上的科或属），共 419 种（从真菌到种子植物），其中一级重点保护 67 种，二级重点保护 352 种。2021 年，新版《国家重点保护野生植物名录（2021 版）》发布（国家林业和草原局 农业农村部公告[2021]15 号），同时废止了 1999 年发布的《国家重点保护野生植物名录（第一批）》。依据 2023 年 5 月发布的《中国生物物种名录 2023 版》统计，《国家重点保护野生植物名录（2021 版）》包含 138 科 333 属的野生植物 1 229 种，其中国家一级重点保护野生植物 136 种，国家二级重点保护野生植物 1 093 种 （吴欣静等，2023）。

基于 IUCN 体系评估形成的红色名录，给出了一个地区、国家或全球范围内（所有）物种的受威胁状态，但濒危等级的数据并不能直接等同于保护优先性，并不是极危物种就一定要采取重要的保护措施，而无危种就不需要采取保护措施 (解焱，2022)。统计《中国生物多样性红色名录-高等植物卷（2020）》各评估等级表明，共有受威胁物种共 4 088 种，包括极危 602 种、濒危 1 365 种和易危 2 121 种（生态环境部 中国科学院，2023）。对比《国家重点保护野生植物（2021 版）》的物种，在 4 088 种受威植物中，有 649 种被纳入了国家重点保护，包括极危 140 种、濒危 249 种和易危 260 种，也就是约 52.8%的国家重点保护野生植物为按 IUCN 评估体系评估的受威种类。

极小种群野生植物是基于野外调查数据评估，野外种群和个体数少、生境狭窄、人为干扰严重、有较高灭绝风险、需要开展抢救性保护的野生植物，不包括自然稀有种，强调保护的优先性、紧迫性、抢救性、种群层面等，并定量提出了纳入抢救性保护物种的种群大小指导性标准 (孙卫邦等，2021)。自从 2010 年云南省率先开展极小种群物种拯救保护工作以来，纳入国家及云南省拯救保护规划的极小种群野生植物共计 274 种（去除重复后的数量），包括云省人民政府批复的《云南省极小种群物种拯救保护规划纲要（2010-2020）和紧急行动计划（2010-2015）》中的 62 种植物（云政复[2010]15 号）、原国家林业局和国家发改委下发的《全国极小种群野生植物拯救保护工程规划（2011-2015）》中的 120 个物种（林规发[2012]59 号）、《“十四五”全国极小种群野生植物拯救保护建设方案》中的 100 个物种（办护字[2022]133

号）和《云南省极小种群野生植物拯救保护规划（2021-2030）》中的 101 个物种（https://lcj.yn.gov.cn /html/2023/ zdlyxxgkqt_0113/67991.htm）。

统计发现，《“十四五”全国极小种群野生植物拯救保护建设方案》的 100 个物种中，89%的物种（89 种）为国家重点保护野生植物（包括一级 44 种、二级 45 种），86 种为已评估的受威植物（包括极危 46 种、濒危 28 种和易危 12 种）；《云南省极小种群野生植物拯救保护规划（2021-2030）》的 101 个物种中，49 种为国家重点保护野生植物（包括一级 12 种、二级 37 种），66 种为已评估的受威胁植物（包括极危 28 种、濒危 26 种和易危 12 种）。需要明确的是，纳入国家或地方（省级）优先拯救保护的极小种群野生植物需要及时进行更新，只有对那些已经达到抢救性保护目标或脱离灭绝风险的物种及时剔除，才能留出资源来拯救更多的处于濒临灭绝边缘的物种（孙卫邦等，2021）。

3 迁地保护多少物种合适

我国著名植物学家吴征镒院士在 1995 年 12 月 24 日曾寄语昆明植物园：“希望植物园广泛收集多种植物，使之成为科学研究的基地，种质资源的基因库，科学普及的窗口和休憩娱乐的好去处”。无疑，对我国丰富的植物资源进行收集保存，并对珍稀濒危植物开展迁地保护，是我国植物园的使命任务。《中国生物物种名录（2023 版）》共收录 39 539 个植物物种，隶属于 6 门 17 纲 149 目 542 科 4 509 属，其中维管植物 35 714 种，约占我国野生植物总数的 90%（http://www.sp2000.org.cn），其余 10%物种为地衣、苔藓、红藻、绿藻等类群。与 2022 版比较，2023 版新增植物物种 351 种。可见，自然界中仍有我们未认识、未发现的物种，人类的认识和发现在不断的发展、进步和完善之中。诚然，植物园对植物资源迁地保育实践表明，由于受限于人类的认知、技术手段、设施条件等诸多因素的限制，迁地保护不可能实现 100%的本土野生植物全覆盖。

当前，中国的植物园仅迁地保存了我国约 50%的本土野生高等植物 (廖景平等，2023)、约 59%的受威胁植物和 72%的国家重点保护野生植物（王利松等，2023）。Ren 和 Blackmore（2023）提出中国国家植物园迁地保护目标，即到 2050 年，力争实现保育我国 50%以上的本土植物、85%以上的国家重点保护野生植物以及全部 156 种极小种群野生植物的目标，并且其对应的科学研究、自然教育和资源利用水平将得到改善。从我国植物种质资源的保护现状和发展态势来看，这个目标是合理的，是可以实现的。我们最近整理完成的昆明植物园活植物迁地保护数据显示，昆明植物园（含丽江高山植物园）迁地保护的国家重点保护野生植物已达 561 种，中国特有植物 1 495 种，极小种群野生植物 124 种；《“十四五”全国极小种群野生植物拯救保护建设方案》中的 100 个目标物种，昆明植物园已迁地保护了 49 种。目前，昆明植物园的极小种群野生植物迁地保护种群，多数木本植物都在 25 株以上，如普陀鹅耳枥（*Carpinus putoensis*）56 株（野外仅 1 株）、巧家五针松（*Pinus squamata*）47 株（野外仅 34 株）、西畴青冈（*Quercus sichourensis*）47 株（野外仅 17 株）等，国家二级重点保护野生植物平当树（*Paradombeya sinensis*）达到 480 株。按国家植物园体系布局方案，相信未来 10 个左右的国家植物园为引领，中国植物园在迁地保护领域会为我国的生物多样性保护做出巨大贡献。

一种植物成功的迁地保护，受物种的成活率、遗传多样性、有害突变、子代适合度（迁地种群的近交、杂交、远交），以及技术条件、资金投入等多种因素的影响。对一个物种的保护，最理想的步骤是，“确定保护目标-取样-测序获取分子标记-评估遗传参数如基因流、有害突变数量、遗传变异、有效种群大小、基因组脆弱性等-确定需要保护的个体数或种群”(Nielsen et al., 2023)。然而，没有统一的最小迁地保育数量标准，针对不同的珍稀濒危植物，需要量身定制的策略 (孙卫邦等，2021; Rosenberger et al., 2022)。当种群大小不等时，按种群大小比例采样（proportional sampling）可捕获更多的遗传多样性 (Rosenberger et al., 2021)。

Wei 和 Jiang（2021）搜集了 1900—2017 年间发表的 3 599 篇植物迁地保护遗传多样性相关研究的论文，对其中 84 篇进行了 meta 分析，结果发现，当从不同种群引种、覆盖物种分布区、混合不同种源的个体数大于等于 30 或 50 时，迁地保护种群与野生种群的遗传多样性无显著差异，也无显著的遗传分化，表明迁地保护种群具有较高的遗传代表性。当然，植物多样性保护还有其他方式，大部分有效性的评估仅以一种保护方式，如某个植物园的迁地保护种群，进行有效性评估，未考虑不同植物园、种质资源库、就地保护等其他形式的保护有效性，这可能会低估了对一个物种保护的有效性。最小可存活种群（MVP，minimum viable population size）理论提出的有效种群大小（*Ne*）“50/500”法则 (Jamieson & Allendorf, 2012)，或“100/1000”法则 (Frankham et al., 2014)，要求迁地保护 500 个、甚至 1 000 个个体，以维持物种长期的进化潜力，在实际工作中，不容易实现；也不可能实现对每个物种进行遗传多样性分析和有效种群大小计算。综上所述，从保护资金成本、遗传多样性覆盖度、实际可操作性层面来说，从不同种群引种、覆盖物种分布区、总个体数大于等于 30，或许可作为当前我国植物迁地保护的参考标准。

4 当前存在的一些问题及建议

我国植物迁地保护中存在一些突出问题，需要不断完善、规范、改进和深入研究。

（1）植物园活植物迁地栽培保护有效性方面。珍稀濒危植物的迁地保护，需要尽可能的保护其遗传多样性和代表性（陈进和杨玺，2024）。我国植物园活植物迁地保护中，每个物种迁地保护了多少个体（植株），这些个体来自于多少种群，能代表多少野外种群的遗传多样性、多少生态型或其适应性变异，有多少物种的保护是有效的，这些问题需要科学研究。现有保育物种，大部分是数十年前引种的，当时几乎没有可用的遗传信息；受限于研究条件，不可能对每一个迁地保护的物种开展遗传多样性评估；部分已评估的物种，仅针对当时已知的种群，仅包括部分植物园保育的种群，并未包括新发现种群或未发现种群；当前迁地保护工作中，大部分野外工作者并不考虑遗传信息；在植物园迁地栽培环境下，在原生环境中有利的遗传变异，未必适合当前迁地环境；已经保育的物种，未必能适应未来不断变化的气候环境。迁地保护植株的适应性和有效性，需要长期监测和维护。建议在保证物种数量覆盖度的前提下，进一步开展珍稀濒危植物迁地保护有效性评估。

（2）活植物迁地保育物种信息档案方面。在编写专科专属迁地栽培植物志和专类园管理中，经常能发现一些植物园名录没有记载的“植物园新纪录”物种、未知来源的物种、尚未鉴定的物种、未知物种、错误鉴定和错误挂牌的物种等情况。很大可能是过去的引种记录信息缺乏或不规范，新旧管理者或新老员工交接、衔接不好。大部分植物园存在缺乏引种信息记录、缺乏定植区域、缺乏死亡或捐赠个体或物种去向等记录、记录不规范、或记录仅在少数职工（包括不在岗职工）手里等问题。活植物迁地保护中物种信息的记录，是保持植物园本质的关键，也是植物园区别于一般公园的重要特征 (赵文媛等，2021)。建议植物园加强对现有物种的清查、整理、鉴定，规范植物从繁殖材料进入繁殖苗圃进行人工繁殖、专类园定植管护、生长发育特征观察、物候特征等信息档案全过程记录。

（3）国家植物园建设和管理方面。我国正在构建以国家公园为主体的就地保护体系和以国家植物园为引领的迁地保护体系 (Ren & Blackmore, 2023)。研究结果表明，我国植物园迁地保育的大部分物种来自中国东部，并保存于该地区的植物园中，而我国西南和西北等植物多样性热点区域的物种在迁地保护中的代表性不高 (Ye et al., 2023)。建议加强对我国西部地区植物的迁地保护，加大推进该区域国家植物园创建力度。此外，针对中国的国家植物园体系，在运行管理、引种、保育、考核指标、数据档案记录等环节，亟需制定一套国家标准或规范，按照标准运营，按规范管理，从而建成特色鲜明、功能完备、万物和谐、高标准、高质量的中国国家植物园体系，保障《中国生物多样性保护战略和行动计划（2023-2030）》

的实施。

5 展望

2023 年 12 月 27 日，中共中央 国务院发布的"关于全面推进美丽中国建设的意见"中，明确提出了"健全全国生物多样性保护网络，全面保护野生动植物，逐步建立国家植物园体系"。《中国生物多样性保护战略与行动计划（2023-2030）》包括了四大领域共 27 个优先行动计划，在"优先行动 10：生物多样性迁地保护"中提出"稳步推进国家植物园体系建设，构建由国家植物园、植物园、扩繁与迁地保护研究中心和种质资源库等组成的野生植物迁地保护体系""到 2030 年，形成较为完善的珍稀濒危野生动植物迁地保护体系"。目前，我国已经设立了 2 个国家植物园，国家植物园体系建设在加速推进中，同时，也正在推进《国家植物园设立规范》、《国家植物园考核评价规范》、《国家植物园标识展示规范》、《国家植物园建设方案技术规范》等国家标准的起草、立项。我们有理由相信，以植物迁地保护为主要目标任务的"中国特色、世界一流、万物和谐的国家植物园体系"终将建成，植物就地保护与迁地保护相结合的保护体系将在我国生物多样保护中发挥重要作用。

致谢：感谢马永鹏研究员和刘德团副研究员协助收集、整理相关文献。

参考文献：

ANTONELLI A, FRY C, SMITH RJ, et al., 2023. State of the world's plants and fungi, 2023[M]. UK, Kew: Kew Royal Botanic Gardens: 1-90.

CHEN G, SUN WB, 2018. The role of botanical gardens in scientific research, conservation, and citizen science[J]. Plant Divers, 40(4): 181-188.

CHEN J, YANG X, 2024. Discussion on the plant *ex situ* conservation[J]. Biodivers Sci, 32（2）: 24064. [陈进，杨玺，2024. 关于植物迁地保护若干问题的讨论[J]. 生物多样性，32（2）：24064.]

FU LG, 1991. China Plant Red Data Book: Rare and Endangered Plants: Vol.1 [M]. Beijing: Science Press. [傅立国，1991. 中国植物红皮书—稀有濒危植物：第一册[M]. 北京：科学出版社.]

FRANKHAM R, BRADSHAW CJA, BROOK BW, 2014. Genetics in conservation management: revised recommendations for the 50/500 rules, Red List criteria and population viability analyses[J]. Biol Conserv, 170: 56-63.

GONG X, ZHANG QT, TAO GD, et al., 2006. Rare and endangered plants of Yunnan, China(I) [M]. Kunming: Yunnan Science and Technology Press. [龚洵，张启泰，陶国达，等，2006. 中国云南珍稀濒危植物 (I) [M]. 昆明：云南科技出版社.]

GUERRANT EOJR, HAVENS K, MAUNDER M, 2004. *Ex situ* plant conservation: supporting species survival in the wild[M]. Washington: Island Press: 504.

HE SA, 1998. Rare and precious plants of China[M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Publishers. [贺善安，1998. 中国珍稀植物[M]. 上海：上海科技出版社.]

JAMIESON IG, ALLENDORF FW, 2012. How does the 50/500 rule apply to MVPs[J]. Trends Ecol Evol, 27(10): 578-584.

LIAO JP, NI DJ, HE T, et al., 2023. Historical review, current status and future prospects of global botanical gardens[J]. Biodivers Sci, 31（9）: 23256. [廖景平，倪杜娟，何拓，等，2023. 全球植物园发展历史、现状与展望[J]. 生物多样性，31（9）：23256.]

LI DZ, PRITCHARD HW, 2009. The science and economics of *ex situ* plant conservation[J]. Trends Plant Sci, 14(11): 614-621.

LU ZL, QIN HN, JIN XH, et al., 2021. On the necessity, principle, and process of updating the List of National Key Protected Wild Plants[J]. Biodivers Sci, 29（12）: 1577-1582. [鲁兆莉，覃海宁，金效华，等，2021. 《国家重点保护野生植物名录》调整的必要性、原则和程序[J]. 生物多样性， 29（12）：1577-1582.]

Ministry of Ecology and Environment of the People's Republic of China, Chinese Academy of Sciences, 2023. Red list of China's biodiversity—higher plants[EB/OL]. [生态环境部 中国科学院，2023. 中国生物多样性红色名录—高等植物卷（2020）[EB/OL]. https:// www.mee.gov.cn/ xxgk2018 /xxgk /xxgk01 /202305 /t20230522_1030745.html, 2024/3/22.]

NIELSEN ES, HANSON JO, CARVALHO SB, et al., 2023. Molecular ecology meets systematic conservation planning[J]. Trends Ecol Evol, 38: 143-155.

WU XJ, CHEN JF, CUI GF, 2023. Proposals for updating the List of National Key Protected Wild Plants—Based on an analysis of existing conservation lists[J]. Biodivers Sci, 31(7): 22622. [吴欣静，陈金锋，崔国发，2023. 《国家重点保护野生植物名录》更新建议——基于对现有保护名录的分析[J]. 生物多样性，31（7）：22622.]

QIN HN, ZHAO LN, 2017. Evaluating the threat status of higher plants in China[J]. Biodivers Sci, 25(7): 689-695. [覃海宁，赵莉娜，2017. 中国高等植物濒危状况评估[J]. 生物多样性，25（7）：689-695.]

REN H, 2024. Reflections on the *ex situ* conservation target of botanical gardens[J]. Biodivers Sci, 32(2): 24015. [任海，2024. 关于植物园迁地保护目标的思考[J]. 生物多样性，32（2）：24015.]

REN H, BLACKMORE S, 2023. The role of National Botanical Gardens to benefit sustainable development[J]. Trends Plant Sci, 28(7): 731-733.

REN H, ZHANG QM, WANG RJ, 2016. Conservation and study of rare and endangered plants in Guangdong Province [M]. Beijing: China Forestry Press. [任海，张倩媚，王瑞江，2016. 广东省珍稀濒危植物的保护与研究[M]. 北京：中国林业出版社.]

ROSENBERGER K, SCHUMACHER E, BROWN A, et al., 2021. Proportional sampling strategy often captures more genetic diversity when population sizes vary[J]. Biol Conserv, 261: 109261.

ROSENBERGER K, SCHUMACHER E, BROWN A, et al., 2022. Species-tailored sampling guidelines remain an efficient method to conserve genetic diversity *ex situ*: A study on threatened oaks[J]. Biol Conserv, 275: 109755.

SUN WB, 2013. Conservation of Plant Species With Extremely Small Populations in Yunnan: practice and exploration[M]. Kunming: Yunnan Science and Technology Press. [孙卫邦，2013. 云南省极小种群野生植物保护实践与探索[M]. 昆明：云南科技出版社.]

SUN WB, 2021. List of Yunnan protected plant species with extremely small populations (2021)[M]. Kunming: Yunnan Science and Technology Press. [孙卫邦，2021. 云南省极小种群野生植物保护名录（2021 版）[M]. 昆明：云南科技出版社.]

SUN WB, LIU DT, ZHANG P, 2021. Conservation research of plant species with extremely small populations(PSESP): Progress and future direction[J]. Guihaia, 41(10): 1605-1617. [孙卫邦，刘德团，张品，2021. 极小种群野生植物保护研究进展与未来工作的思考[J]. 广西植物，41（10）：1605-1617.]

SUN WB, YANG J, DAO ZL, 2019. Study and conservation of plant species with extremely small populations(PSESP) in Yunnan province, China[M]. Beijing: Science Press. [孙卫邦，杨静，刀志灵，2019. 云南省极小种群野生植物研究与保护[M]. 北京：科学出版社.]

WANG LS, ZHAN QQ, LIAO JP, et al., 2023. Vascular plant diversity of National key protected wild plants, threatened species, and endemic species *ex situ* conserved in botanic gardens of China[J]. Biodivers Sci, 31(2): 22495. [王利松，湛青青，廖景平，等，2023. 我国迁地保护的国家重点保护、受威胁和特有维管植物多样性[J]. 生物多样性, 31（2）： 22495.]
WEI XZ, JIANG MX, 2021. Meta-analysis of genetic representativeness of plant populations under *ex situ* conservation in contrast to wild source populations[J]. Conserv Biol, 35: 12-23.
XIE Y, 2022. Progress and application of IUCN Red List of Threatened Species[J]. Biodivers Sci, 30(10): 22445. [解焱，2022. IUCN 受威胁物种红色名录进展及应用[J]. 生物多样性，30（10）：22445.]
XU ZF, 1998. Principles and methodologies of *ex situ* conservation for rare and endangered plants [M]. Kunming: Yunnan Science and Technology Press. [许再富，1998. 稀有濒危植物迁地保护的原理与方法[M]. 昆明：云南科技出版社.]
YE JF, SHAN ZJ, PENG DX, et al., 2023. Identifying gaps in the *ex situ* conservation of native plant diversity in China[J]. Biol Conserv, 282: 110044.
YIN H, 2013. Rare and endangered plants in China[M]. Beijing: China Forestry Press. [印红，2013. 中国珍稀濒危植物图鉴[M]. 北京：中国林业出版社.]
ZHAO WY, XU XY, YUE GZ, 2021. Talking about the scientific record and management of plant archives in the botanical gardens[J]. J Green Sci Technol, 23(15): 109-111, 114. [赵文媛，徐秀源，岳国忠，2021. 植物园植物档案科学记录与管理探讨[J]. 绿色科技，23（15）：109-111, 114.]
ZANG DK, 2017. Rare and endangered plants in Shandong [M]. Beijing: China Forestry Press. [臧德奎，2017. 山东珍稀濒危植物[M]. 北京：中国林业出版社.]
ZhANG GL, CAI J, JIANG CQ, 2017. Rare and threatened plants of Dawei Mountain National Nature Reserve in Yunnan [M]. Kunming: Yunnan Science and Technology Press. [张贵良，蔡杰，姜超强，2017. 云南大围山珍稀濒危植物[M]. 昆明：云南科技出版社.]